心理科学进展 2021, Vol. 29, No. 2, 218–224
Advances in Psychological Science
https://dx.doi.org/10.3724/SP.J.1042.2021.00218

·研究简报(Research Reports)·

奏鸣曲式中调性结构对紧张感的影响——以莫扎特与贝多芬钢琴奏鸣曲为例*

车新春[1,2,3] 孙丽君[1] 马小龙[1,2] 杨玉芳[1]

([1] 中国科学院心理研究所行为科学重点实验室，北京 100101)
([2] 中国科学院大学心理学系，北京 100049) ([3] 南昌航空大学音乐学院，南昌 330063)

摘 要 音乐紧张感是音乐聆听的基础与重要环节。本研究选取莫扎特与贝多芬的音乐作品，运用紧张感模型计算与行为实验两种方法，探讨奏鸣曲式中的调性结构对紧张感的影响。研究发现，奏鸣曲中呈示部、展开部与再现部三部分的紧张感变化具有差异，展开部的紧张感高于呈示部与再现部，再现部的紧张感高于呈示部，这源于转调距离与转调频率的差异。本研究探讨了在大尺度的真实音乐作品中调性结构对紧张感的影响，为音乐学领域的研究提供佐证和新的视角。

关键词 调性结构，紧张感，奏鸣曲式，莫扎特，贝多芬
分类号 B842

1 引言

在西方音乐历史中，莫扎特与贝多芬的钢琴奏鸣曲一直被视为古典主义时期调性音乐的代表之作而广为流传(Eisen & Sadie, 2001; 杨燕迪, 2017)。莫扎特在他钢琴奏鸣曲的第一乐章中常常采用奏鸣曲式。奏鸣曲式主要包含呈示部、展开部与再现部三个部分(Belkin, 2018; Rosen, 1997)，三个部分呈现出固定的调性布局，且展开部的转调频率与转调距离大于呈示部与再现部(Belkin, 2018; Webster, 2001)。贝多芬在其基础上，进一步拓展了奏鸣曲式的表现力与结构功能(Kerman et al., 2001; 邹彦, 2018)，呈现出更为强烈的矛盾与冲突，诱发听众更为戏剧性的情绪感受(丁旭东, 2010; Lockwood, 2005)。

研究者推测这可能源于贝多芬在音乐作品中运用了更加复杂多变的和声进行与更为自由的转调(Kerman et al., 2001; Lockwood, 2005)。虽然已有研究发现很多声学要素也能够传递音乐情感(e.g., Farbood & Finn, 2013; Granot & Eitan, 2011)。但是，与速度、力度、音色等声学要素相比，音乐的调性结构具有特异于其他自然环境声音的特征。然而，由于音乐学领域缺乏对音乐情绪与调性结构进行定量分析的有效手段，因此，研究者无法基于实证研究的数据得出客观的研究结果。实际上，紧张感作为诱发听者情绪的基础与核心环节(Berry, 1976; Hindemith, 1937)，贯穿于音乐聆听的整个过程，是音乐体验的核心，也是连接音乐音响与听者感受的重要桥梁。因此，通过聚焦音乐紧张感，可以更好地揭示人们聆听莫扎特与贝多芬奏鸣曲的差异及其成因。

对于音乐调性结构与紧张感的关系，研究者分别从理论模型和实证研究两个方面进行了探讨。在音乐心理学领域，主要有调性生成理论(Generative Theory of Tonal Music, GTTM)以及调性紧张感模型(Tonal Tension Model, TTM)。Lerdahl 和 Jackendoff (1983)提出的调性生成理论认为音乐事件的紧张感依赖于它在调性结构中所处的层级位置，层级越高的音乐事件越稳定，紧张感越

收稿日期：2020-06-10
* 国家自然科学基金项目(31470985, 31971034)；中国博士后科学基金项目(Y9BH032001)；江西省教育科学“十三五”规划项目(17YB120)。
通信作者：杨玉芳, E-mail: yangyf@psych.ac.cn

弱; 反之, 则紧张感越强。而且, 局部的紧张−放松模式嵌套于整体的紧张−放松模式中, 在大尺度上形成具有层级性的紧张放松运动。在此基础上, Lerdahl 和 Krumhansl (2007)提出的调性紧张感模型则综合了延长还原结构(prolongational structure)、音高空间模型(pitch space model)、表层紧张感模型(surface-tension model)以及倾向模型(attraction model)四个方面对紧张感进行了量化。以上两个理论模型聚焦调性结构与紧张感的关系, 对音乐进行中每一个事件进行紧张感的量化。本研究以此为基础, 一方面探讨调性结构在真实音乐作品中对紧张感的推进, 另一方面验证理论模型与真实聆听体验的匹配程度。

在实证研究方面, 已有学者采用紧张感的行为评价等实验任务, 探讨音乐调性结构对紧张感的影响。在这类研究中, 被试通常在聆听一段由多个和弦组成的和声序列后, 在李克特量表上对和弦序列中某个和弦诱发的紧张感做出评价, 量表的两端分别代表紧张感的两极：紧张感很弱(或放松)以及紧张感很强。采用这种范式, 通过严格操纵和弦序列的调性结构, 研究者发现和声结构越不稳定的和弦诱发的紧张感越高, 验证了调性紧张感模型(Bigand & Parncutt, 1999; Bigand et al., 1996; Sun et al., 2020)。然而, 真实的音乐作品包含更为复杂的调性结构, 在音乐的大时间尺度上展开与推进的过程中, 音乐紧张感是如何生成、累加和解决的, 并没有得到充分的研究(Lehne et al., 2013)。

本研究在乐章层次上, 考察调性结构与紧张感的关系。奏鸣曲式是最擅长通过特定的调性布局传递情感冲突的曲式结构之一。本研究分别选取莫扎特《C 大调钢琴奏鸣曲》(K.309)第一乐章和贝多芬《E 大调钢琴奏鸣曲》(Op.14/1)第一乐章作为实验材料。这是因为, 莫扎特与贝多芬作为古典盛期的代表作曲家, 都采用符合西方大小调功能和声体系的较为传统的和声进行。另外, 与莫扎特相比, 贝多芬在奏鸣曲式中使用了更具开拓性的调性结构, 因而, 通过二者的比较有助于我们深入探讨调性结构对紧张感的影响。本研究通过紧张感模型的计算, 从理论的视角, 探讨调性结构对紧张感的影响; 通过行为评定结果的分析, 从实际聆听体验的视角, 探讨调性结构与其他声学要素对紧张感的影响; 通过分析紧张感模型的计算结果与行为评定之间的关系, 为调性结构在紧张感推进过程中的贡献程度提供证据。本研究假设, 基于曲式对乐曲结构组织的重要作用, 无论紧张感模型还是行为评定, 展开部的紧张感均会大于呈示部与再现部。另外, 已有研究证实了调性结构对紧张感的影响(Lerdahl & Krumhansl, 2007; Steinbeis et al., 2006), 因此, 本研究假设紧张感模型的计算结果与行为评定之间具有显著的相关关系。

2 研究方法

2.1 调性紧张感计算模型

根据 Lerdahl 和 Krumhansl 提出的调性紧张感模型, 本研究分别计算两首奏鸣曲的紧张值。调性紧张感计算模型包含 4 个成分：(1)延长还原结构。音乐事件的紧张感数值与其在延长还原结构中所依附的上一层级音乐事件相关, 它继承了上一层级音乐事件的紧张值。(2)音高空间模型, 即当前音乐事件与其所依附的上一层级音乐事件的调性空间距离。该距离由这两个音乐事件所属调性在五度循环圈内的距离、两个音乐事件本身在五度循环圈的距离以及两个音乐事件在基本空间的非共同音的数量决定。(3)表层紧张感模型, 即当前音乐事件的协和程度。由该音乐事件旋律音与低音在和弦中的位置、以及该音乐事件包含的非和弦音数量决定。(4)倾向模型, 即该音乐事件与下一个紧挨的音乐事件之间的和声倾向性, 是该音乐事件每个声部旋律倾向性数值的相加总和。最后, 将以上 4 个数值相加就是该音乐事件的紧张感值。

本研究分别选取莫扎特《C 大调钢琴奏鸣曲》(K.309)第一乐章和贝多芬《E 大调钢琴奏鸣曲》(Op.14/1)第一乐章的谱例作为分析材料。为了能够纵观整首乐曲的紧张感变化, 我们根据模型的计算方法, 找出整首乐曲中最关键的 12 个音乐事件, 并根据每个音乐事件的数值构建出音乐紧张感的树形结构。另外, 我们依据模型计算的间隔, 根据和弦的变化, 将行为数据以不同时间间隔为提取单位, 计算出与模型计算结果一一对应的行为结果并进行相关分析。

2.2 行为实验

2.2.1 被试

本研究首先根据已有紧张感的文献的结果(Sun et al., 2020), 计算出效应量 $f = 0.39$, 再通过

G*power3.1.9.4 软件(Faul et al., 2007)对所需样本量进行计算。结果表明在 0.01 水平上达到 95%的统计检验力的重复测量方差分析需要 26 个样本量。因此，在行为实验中，共 28 名被试参与紧张感行为评价(男性 5 人；年龄= 20.18 ± 1.56 岁)。由于本研究选取的真实音乐作品同时包含局部与远距离的调性依赖关系，因此，考虑到任务难度，研究选取的被试均接受过长期系统的西方乐器训练(8~12 年)。被试均为右利手，无视力、听力障碍或者神经损伤。所有被试都签署了知情同意书。

2.2.2 实验材料

本研究分别选取内田光子演奏的莫扎特《C 大调钢琴奏鸣曲》(K.309)第一乐章(时长：5 分 45 秒)以及 Igor Levit (伊戈尔•勒维特)演奏的贝多芬《E 大调钢琴奏鸣曲》(Op.14/1)第一乐章(时长：6 分 13 秒)作为实验音响材料。为了探讨调性结构对音乐紧张感的影响，在选取音乐材料时，特别控制了调性、节拍、速度以及音乐长度。具体来说，这两首乐曲的调性都是大调式，节拍都是 4/4 拍，速度都是快板，整体篇幅以及呈示部、展开部与再现部三个主要部分的篇幅均大致相当。对于莫扎特奏鸣曲来说，三个主要部分的时间范围分别是：1~186 秒, 187~244 秒, 245~344 秒；对于贝多芬奏鸣曲来说，三个主要部分的时间范围分别是：1~199 秒, 200~246 秒, 247~343 秒。为了保证两首乐曲的速度相近，我们用 Riffstation 软件将速度均调整为每分钟 152 拍。然而，音色变化和弹性速度这些微妙的表情因素无法通过音乐软件消除。因此，本研究选取的音响材料是由两个演奏风格较为相近的演奏家所弹奏。

2.2.3 实验程序

实验程序通过 PsychoPy v3.0 呈现。被试通过佩戴索尼 MDR-XB450AP 耳机聆听音乐。在音乐播放的同时，屏幕右侧会出现一个滑块，滑块的范围在 0~100 之间，数值越大，紧张感越强。被试的任务是通过移动鼠标纵向拖动滑块，从而对音乐紧张感进行连续评价。两首音乐的播放顺序在被试间平衡。音乐聆听结束后，被试在 7 点量表上对乐曲的熟悉度打分。正式实验开始之前，被试通过聆听其他音乐片段，练习如何通过操纵电脑屏幕上的滑块评价紧张感。

2.2.4 数据分析

首先，我们对每个被试的数值进行 Z 分数转换。然后，根据曲式结构，分别计算两首乐曲在呈示部、展开部与再现部紧张感的平均值，并进行以乐曲(莫扎特、贝多芬)与曲式结构(呈示部、展开部、再现部)作为被试内变量的两因素重复测量方差分析。如果曲式结构的主效应显著，则进行事后检验；如果乐曲与曲式结构的交互作用显著，则进一步进行简单效应分析。另外，为了考察紧张感模型的计算结果与行为实验的吻合性，我们依据模型计算的间隔，将行为数据根据和弦的变化以不同时间间隔为提取单位，计算出与模型计算结果一一对应的行为结果并进行皮尔逊相关分析。

3 结果

3.1 模型计算

根据 12 个重要的音乐事件，图 1A 与图 1B 分别呈现了莫扎特与贝多芬钢琴奏鸣曲第一乐章的延长还原结构。如图所示，两首乐曲的延长还原结构在以下三个方面具有很高的一致性：(1)从每个音乐事件所处的曲式结构位置来看，第 12 个事件位于再现部的结尾，处于延长还原结构中最重要的位置；第 8 个事件位于再现部开始，它将整首乐曲分为两部分；第 5 个音乐事件位于呈示部结尾，分离乐曲的呈示部与展开部。这说明，莫扎特与贝多芬奏鸣曲在相似的结构位置上都有重要的音乐事件支撑，而且这些音乐事件所处的位置与奏鸣曲式结构中重要的分割点是相吻合的。(2)从音乐事件的和弦性质来看，除了第 6 个音乐事件之外，所有音乐事件在和弦性质上完全一致，分别是主和弦(I)、重属和弦(V/V)、属和弦(V)、重属和弦(V/V)、属和弦(V)、属和弦(V)、主和弦(I)、属和弦(V)、主和弦(I)、属和弦(V)、主和弦(I)。这表明，在奏鸣曲式这样的大尺度音乐结构中，作曲家采用相似的和声推进方式构建重要位置上的和声组织。(3)从模型预测值来看，除了旋律倾向性，音乐事件在层级结构、调性音高空间、表层紧张三个方面的预测值基本一致。

作为奏鸣曲式中调性变化最鲜明的部分，从展开部中可以看出，转调频率和转调距离是诱发紧张感变化的主要原因。对于莫扎特《C 大调钢琴奏鸣曲》(K.309)第一乐章来说，展开部转调频率高，调性从 G 大调转到 g 小调(59~66 小节，紧张感上升 7 分), d 小调(67~72 小节，紧张感上升 7 分), a 小调(73~74 小节，紧张感下降 14 分), g 小调

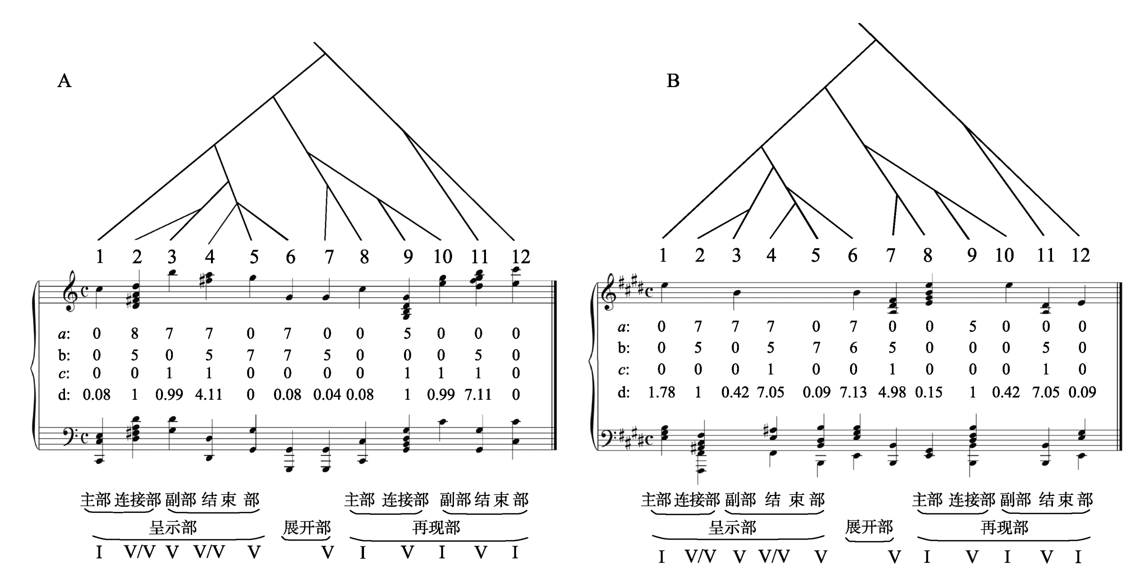


图 1　莫扎特(A)与贝多芬(B)奏鸣曲的延长还原结构。a 是延长还原结构中，该音乐事件对上一层级音乐事件紧张感的继承值; b 是音高空间模型中，该音乐事件与上一层级音乐事件的距离值; c 是表层紧张感模型中，该音乐事件的协和程度; d 是倾向模型中，该音乐事件对紧邻的下一个音乐事件的倾向值。

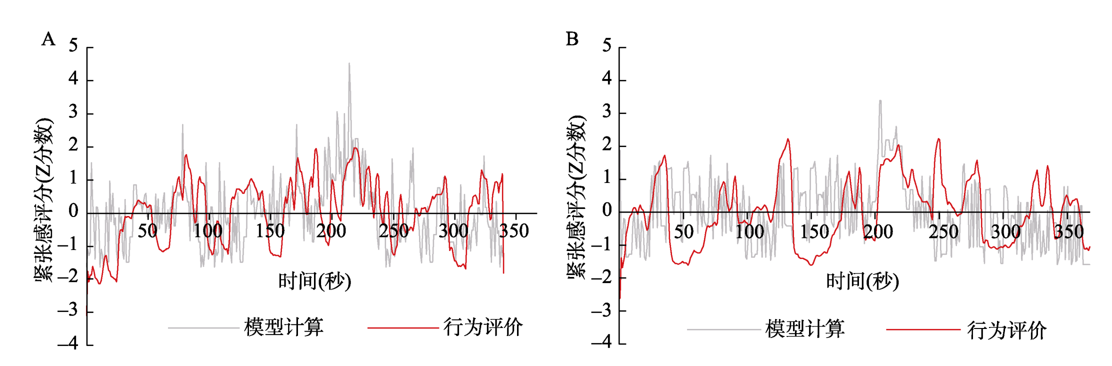


图 2　莫扎特(A)与贝多芬(B)奏鸣曲的模型计算与行为评价结果。横坐标表示以秒为单位的音乐时间进程，纵坐标表示经过 Z 分数转换之后的紧张感评分。

(75~76 小节，紧张感上升 13 分), a 小调(77~85 小节，紧张感下降 13 分)，转调诱发了紧张感波浪式的缓慢上升。对于贝多芬《E 大调钢琴奏鸣曲》(Op.14/1)第一乐章来说，展开部转调距离远，调性从呈示部结尾的 B 大调转到 a 小调(72~78 小节，紧张感上升 18 分), C 大调(79~89 小节，紧张感上升 7 分)，诱发了紧张感的快速上升。

3.2　行为实验

图 2A 与图 2B 分别展示了听者对莫扎特与贝多芬钢琴奏鸣曲的紧张感评价。以乐曲(莫扎特、贝多芬)与曲式结构(呈示部、展开部、再现部)作为被试内变量进行的两因素重复测量方差分析表明，曲式结构的主效应显著，$F(1, 27) = 25.00$, $p < 0.001$, partial $\eta^2 = 0.47$。事后检验进一步发现，展开部的紧张感大于呈示部与再现部($ps < 0.001$)，而且再现部的紧张感大于呈示部($p = 0.047$) (呈示部：$M = -0.15$, $SD = 0.04$；展开部：$M = 0.61$, $SD = 0.07$；再现部：$M = 0.17$, $SD = 0.10$)。然而，乐曲的主效应不显著($p = 0.50$)，表明贝多芬与莫扎特钢琴奏鸣曲的紧张感的总体水平没有显著差异(贝多芬：$M = 0.24$, $SD = 0.08$；莫扎特：$M = 0.18$, $SD = 0.02$)。另外，乐曲与曲式结构的交互作用不显著($p = 0.29$)。

为了探讨行为数据与紧张感模型计算的相关性，本实验分别对两首乐曲进行了相关分析，并在图 2 中将理论计算和行为评价数据叠加后同时

呈现。结果表明显示，对于莫扎特奏鸣曲来说，行为数据与紧张感模型计算结果的相关显著(r = 0.20; $p < 0.001$)；对于贝多芬奏鸣曲来说，行为数据与紧张感模型计算结果的相关显著(r = 0.11; p = 0.041)，这表明调性模型对乐曲紧张感的变化具有一定的预测作用。

4 讨论

本研究运用音乐紧张感模型与行为实验两种方法，探讨奏鸣曲式中调性结构与紧张感的关系。研究发现在两首乐曲中，奏鸣曲式三部分的紧张感均呈现出一致性特征：展开部 > 再现部 > 呈示部，表明紧张感在大时间尺度的展开过程中曲式结构的重要性。模型计算与行为评价具有显著的相关，这表明紧张感模型具有一定的预测作用。然而预测水平较低，这可能缘于作曲家运用了调性之外更多的音乐手段来表达紧张感的变化。

4.1 调性结构对紧张感的影响

通过构建紧张感模型中的延长还原结构树，本研究发现莫扎特与贝多芬奏鸣曲在重要的音乐事件上具有很高的一致性，体现了音乐结构组织方式的相似性，暗示了曲式结构对紧张感的影响。一方面，重要的音乐事件都处于曲式结构的重要节点位置，如奏鸣曲式中呈示部、展开部与再现部都由层级性更高的音乐事件来分割，表明这三个部分既相互独立又相互依存的关系。另一方面，重要音乐事件的和弦性质几乎一致。已有研究通过改变和弦的层级性探讨调性结构与音乐紧张感的关系，结果发现层级性越高的和弦越稳定，诱发的紧张感越弱(Bigand et al., 1996; Bigand & Parncutt, 1999; Lerdahl & Krumhansl, 2007)。因此，曲式结构通过对调性结构的控制从而影响音乐紧张感的变化。莫扎特与贝多芬奏鸣曲中音乐事件在曲式结构位置与层级水平上所具有的相似性，影响了两首乐曲的紧张感发展，使二者在整体上诱发了相似的紧张感变化趋势。

紧张感模型的预测与行为实验结果都发现莫扎特与贝多芬奏鸣曲展开部的紧张感明显比呈示部与再现部更高。这可能由以下几个原因所致：首先，与呈示部与再现部相比，展开部出现了更多的调性偏离。比如贝多芬奏鸣曲的展开部经历了 a 小调和 C 大调的远距离转调，而呈示部与再现部仅包含主调或近关系转调。已有研究发现，离调和弦或者包含调外音和弦会诱发更高的紧张感(Bigand & Parncutt, 1999; Steinbeis et al., 2006)。其次，展开部中包含更多的不协和和弦，比如重属七(DD_7)与重属导七($DD_{Ⅶ7}$)等七和弦，这些和弦的不协和性增强展开部的紧张感(Bigand et al., 1996; Farbood & Finn, 2013; Toiviainen & Krumhansl, 2003; Williams et al., 2011)。最后，展开部和弦高声部与低声部的旋律倾向性的增强也诱发了更大的紧张感(Lerdahl & Krumhansl, 2007; Woolhouse, 2009)。

听者对莫扎特与贝多芬奏鸣曲再现部的紧张感评价强于呈示部。这可能是由于情绪的累加性(Résibois et al., 2018; 张金璐 等, 2014)。两首乐曲的展开部显示出紧张感的上升并不会在短时间内完全消失，而是累加到随后的音乐进行中。因此，再现部的紧张感虽然在调性结构上回归到呈示部，但是听者的紧张感受并不能完全得到解决。类似地，我们之前的研究也发现，在嵌套的和声结构中，每一次转调都会诱发紧张感的升高并不断累加，而调性回归却不能使紧张感立刻得到缓解(Sun et al., 2020)。事实上，我们真实的聆听体验也是如此。例如，音乐结束时主和弦虽然能够很好地解决整首乐曲的紧张感，但是听者的紧张情绪却不能立即平复。

本研究还发现，调性模型计算的结果与行为结果虽然具有显著的相关，但相关水平较低，表明紧张感模型并不能很好地预测紧张感体验。这是由于紧张感模型计算主要聚焦于调性结构对紧张感的影响，而紧张感的行为评定则反映了听者的实际感受。研究发现，虽然调性结构是诱发音乐紧张感的重要手段，但是，大量的实证研究表明，响度、力度、速度、音色等都是影响音乐紧张感的重要方面(Farbood & Finn, 2013; Farbood & Price, 2017; Granot & Eitan, 2011; Ilie & Thompson, 2006)。在本研究中，听者的紧张感评价也受到以上这些因素的影响。例如，在贝多芬奏鸣曲的 36~45 秒之间，通过对乐谱的分析，我们可以发现，听者紧张感的下降是由于音乐织体而非调性结构的改变。

4.2 莫扎特与贝多芬奏鸣曲的差异

虽然行为结果没有发现莫扎特与贝多芬音乐紧张感的差异，但是从连续曲线的形态上可以看出，莫扎特音乐的紧张感在一紧与一松的来回往

复中缓慢爬升或者降低, 而贝多芬音乐的变化模式则更为陡峭。这一结果与音乐家的个人创作风格与时代背景相关, 也符合音乐学领域的传统观点。

音乐学家一致认为, 莫扎特的音乐旋律优美, 富于歌唱性, 他的音乐既深奥又微妙, 且细腻优雅(Eisen & Sadie, 2001; Rosen, 1997)。因而, 莫扎特在音乐紧张感的推动方式上, 是在紧张与放松的来回往复中慢慢推进音乐的紧张感。贝多芬的音乐则表现出更为明确的方向性与激动的内在张力(Lockwood, 2005; Rosen, 1997), 它与贝多芬坚韧不拔, 甚至有些偏执的个人性格相关(Swafford, 2014)。因而, 贝多芬音乐在紧张感的推进方式上, 以更为直接的方式呈现出大幅度的起落。最后, 值得注意的是, 因为贝多芬处于古典主义的中后期, 是古典主义的集大成者, 他在吸收前人成就的基础上, 极大拓展了各种结构元素的运用。具体到音乐紧张感的推进上, 他不仅运用调性结构, 而且通过对音区、力度、速度、节奏、织体等多种结构元素的拓展运用, 极大增强了紧张感的推进力度与幅度, 从而使其音乐更加富有戏剧性与冲突性。

参考文献

丁旭东. (2010, 1 月). 哲学辨证观念在奏鸣曲式发展中的体现. *黄钟(武汉音乐学院学报)*, (1), 50–62.

杨燕迪. (2017, 10 月). 贝多芬钢琴奏鸣曲:风格演进与精神成长的“三级跳”. *钢琴艺术*, (10), 4–10.

张金璐, 吴莹莹, 杨晓虹, 杨玉芳. (2014). 话题结构对语篇情绪累加的影响. *心理科学, 37* (6), 1282–1290.

邹彦. (2018, 3 月). 历史语境中的贝多芬《f 小调第一钢琴奏鸣曲》(Op.2/1)的主题分析. *音乐艺术(上海音乐学院学报)*, (1), 62–75.

Belkin, A. (2018). *Musical composition: Craft and art*. New Haven, CT: Yale University Press.

Berry, W. (1976). *Structural functions in music*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. (Reprinted New York: Dover, 1987).

Bigand, E., Parncutt, R., & Lerdahl, F. (1996). Perception of musical tension in short chord sequences: The influence of harmonic function, sensory dissonance, horizontal motion, and musical training. *Perception & Psychophysics, 58*(1), 125–141.

Bigand, E., & Parncutt, R. (1999). Perceiving musical tension in long chord sequences. *Psychological Research, 62*(4), 237–254.

Eisen, C., & Sadie, S. (2001). (Johann Chrysostom) Wolfgang Amadeus Mozart. In S. Sadie & J. Tyrrell (Eds.), *The new Grove dictionary of music and musicians* (2th ed., Vol.17, pp.276–350). London: Macmillan.

Farbood, M. M., & Finn, U. (2013). Interpreting expressive performance through listener judgments of musical tension. *Frontiers in Psychology, 4*, 993.

Farbood, M. M., & Price, K. C. (2017). The contribution of timbre attributes to musical tension. *Journal of Acoustical Society of America, 141*(1), 419–427.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods, 39*(2), 175–191.

Granot, R. Y., & Eitan, Z. (2011). Musical tension and the interaction of dynamic auditory parameters. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal, 28*(3), 219–246.

Hindemith, P. (1937). *The craft of musical composition* (Vol. 1). New York: Belwin-Mills.

Ilie, G., & Thompson, W. (2006). A comparison of acoustic cues in music and speech for three dimensions of affect. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal, 23*(4), 319–330.

Kerman, J., Tyson, A., Burnham, S. G., Johnson, D., & Drabkin, W. (2001). Beethoven, Ludwig van. In S. Sadie & J. Tyrrell (Eds.), *The new Grove dictionary of music and musicians* (2th ed., Vol.3, pp.73–140). London: Macmillan.

Lehne, M., Rohrmeier, M., Gollmann, D., & Koelsch, S. (2013). The influence of different structural features on felt musical tension in two piano pieces by Mozart and Mendelssohn. *Music Perception, 31*(2), 171–185.

Lerdahl, F., & Jackendoff, R. (1983). *A generative theory of tonal music*. Cambridge, MA: MIT Press.

Lerdahl, F., & Krumhansl, C. L. (2007). Modeling tonal tension. *Music Perception*, 24(4), 329–366.

Lockwood, L. (2005). *Beethoven: The music and the life*. New York: W. W. Norton & Company.

Résibois, M., Rotgé, J-Y., Delaveau, P., Kuppens, P., van Mechelen, I., & Fossati, P., & Verduyn, P. (2018). The impact of self-distancing on emotion explosiveness and accumulation: An FMRI study. *Plos One, 13*(11).

Rosen, C. (1997). *The classical style: Haydn, Mozart, Beethoven (Exp. Ed.)*. New York: W. W. Norton & Company, Inc.

Steinbeis, N., Koelsch, S., & Sloboda, J. A. (2006). The role of harmonic expectancy violations in musical emotions: Evidence from subjective, physiological, and neural responses. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(8), 1380–1393.

Sun, L., Feng, C., & Yang, Y. (2020). Tension experience induced by nested structures in music. *Frontiers in Human*

Neuroscience, 14, 210.

Swafford, J. (2014). *Beethoven: Anguish and triumph*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt.

Toiviainen, P., & Krumhansl, C. L. (2003). Measuring and modeling real-time responses to music: The dynamics of tonality induction. *Perception, 32*(6), 741–766.

Webster, J. (2001). Sonata form. In S. Sadie & J. Tyrrell (Eds.), *The new Grove dictionary of music and musicians* (2th ed., Vol. 23, pp. 687–701). London: Macmillan.

Williams, L. R., Fredrickson, W. E., & Atkinson, S. (2011). Focus of attention to melody or harmony and perception of music tension: An exploratory study. *International Journal of Music Education*, 29, 72–81.

Woolhouse, M. (2009). Modelling tonal attraction between adjacent musical elements. *Journal of New Music Research, 38*(4), 357–379.

The influence of tonal structure on tension experience in sonata pieces by Mozart and Beethoven

CHE Xinchun[1,2,3], SUN Lijun[1], MA Xiaolong[1,2], YANG Yufang[1]

([1] *CAS Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*)

([2] *Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)

([3] *School of Music, Nanchang Hangkong University, Nanchang* 330063, *China*)

Abstract: Musical tension is the basis of musical listening. In this study, we calculated tension values based on Tonal Tension Model and conducted behavioral experiment to explore the influence of tonal structure on tension experience in sonata compositions by Mozart and Beethoven. The sonata form is composed of three parts: exposition, development and recapitulation. Our results revealed that both of the tension values and tension experience in development were higher than that in exposition and recapitulation, and higher in recapitulation than in exposition. This might be due to the differences of the distance and frequency on tonal modulations in the three parts. Our study investigated the influence of tonal structure on musical tension in large-scale music works, providing evidence and new perspectives for the study of musicology.

Key words: tonal structure, tension, sonata form, Mozart, Beethoven